

# Konzept der Klimamautgebiete

### Problemstellung:

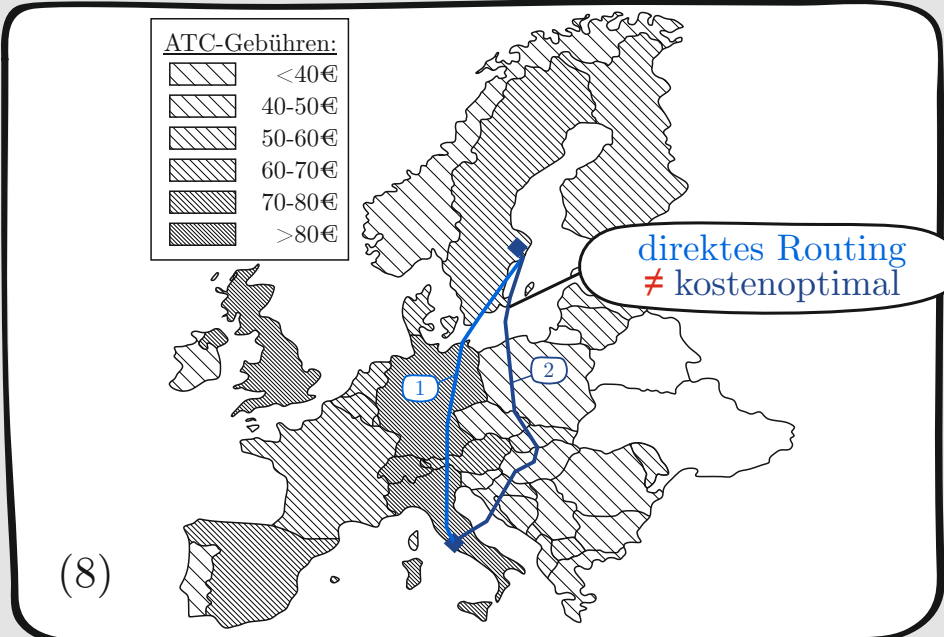
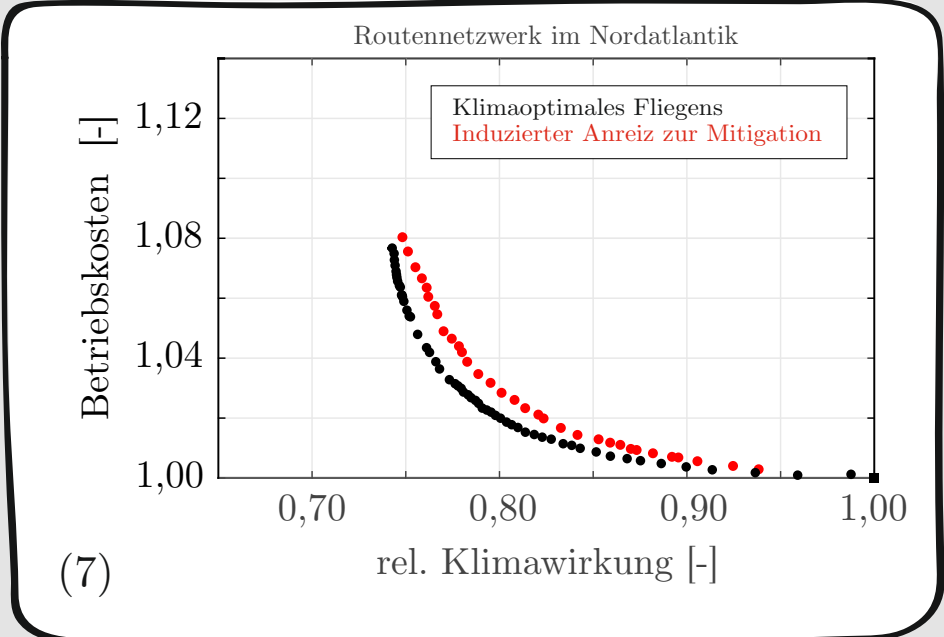
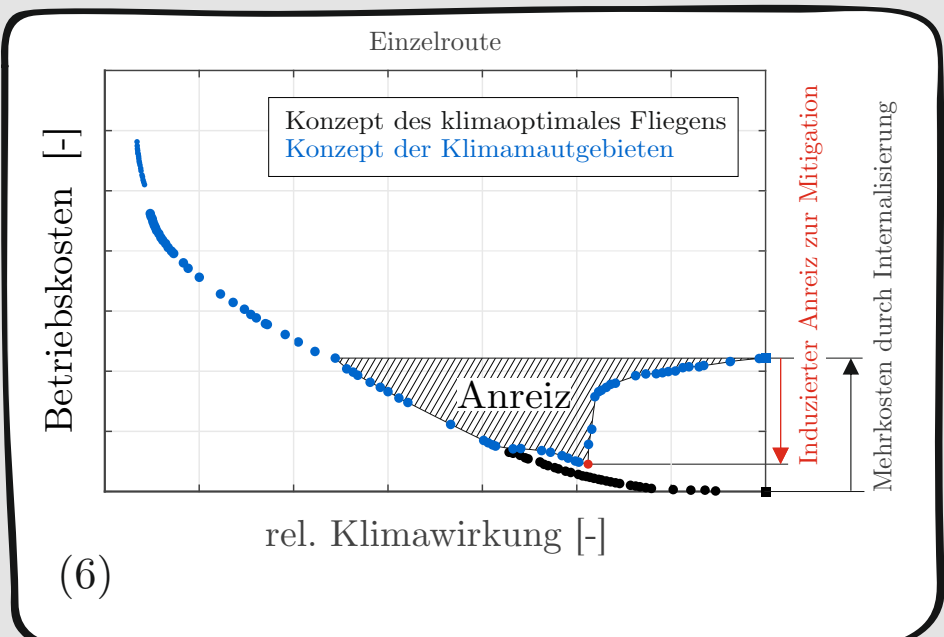
Für den globalen Luftverkehr werden in den nächsten 20-30 Jahren Wachstumsraten erwartet, die deutlich über den jährlichen Steigerungen der Kraftstoffeffizienz liegen. Damit besteht das Risiko, dass der relative Beitrag des Luftverkehrs an den anthropogenen Emissionen und der damit verbundenen Klimawirkung zunehmen werden. Die in den herkömmlichen Flughöhen vorliegenden atmosphärischen Bedingungen begünstigen mikrophysikalische Prozesse und chemische Reaktionen, was dazu führt, dass annähernd 2/3 der gesamten Klimawirkung des Luftverkehrs von Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten, wie z. B. die Ozon- oder Kondensstreifenbildung, verursacht werden, die hochgradig nicht linear zum Kraftstoffverbrauch sind. Zur Mitigation der von Nicht-CO<sub>2</sub>-Klimaeffekten ist eine reine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs bzw. der Emissionsmenge somit unzureichend. Neuere Studien zeigen allerdings, dass Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte besonders effizient durch Vermeidung klimasensitiver Lufträume, beispielsweise durch ein lokales Umfliegen oder durch eine generelle Verringerung der Reiseflughöhe, vermieden werden können, obwohl dieses „Ausweichen“ zeitgleich zu einer Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs, der Emissionsmenge und der Betriebskosten führt.

Sind Mitigationsbemühungen jedoch mit einem direkten Anstieg der Kosten verbunden, wirft dies umgehend die Fragen der (i) Zahlungsbereitschaft der Passagiere für Umweltschutz und der (ii) Handlungsbereitschaft der primär gewinnorientierten Airlines auf, klimafreundlicher zu fliegen.

### Zielsetzung des Forschungsvorhabens:

Dieses Forschungsvorhaben setzt sich mit der Problematik auseinander, welches sich aus dem Zielkonflikt eines immer kleiner werdenden Handlungsspielraums zur Mitigation der schlimmsten Folgen des Klimawandels (Abb. 1.) und dem unternehmerischen Verhalten einer Branche resultiert, welche nicht nur von einem starken Wachstum, einem hohen Konkurrenzkampf und langsamen Entwicklungs- und Einphasungsprozessen gekennzeichnet ist, sondern auch von einer hohen Klimawirkung der ausgestoßenen Spurenstoffe, die maßgeblich vom Ort und Zeitpunkt der Emissionsfreisetzung abhängt. Dieser fundamentale Zielkonflikt führt zwangsläufig zu der Frage, welche technologischen, operativen und/oder regulatorischen Instrumente benötigt und umgesetzt werden können, um die Luftfahrtindustrie sowohl kurz- als auch langfristig klimafreundlich zu gestalten:

1. Welches umweltökonomische Konzept kann im Lufttransportsystem eingeführt werden, um einen finanziellen Anreiz bzw. eine Notwendigkeit für Luftfahrzeugbetreiber zu schaffen, die Klimawirkung von CO<sub>2</sub> und Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten zu reduzieren?



2. Wie muss das Konzept gestaltet sein, um sowohl kurzfristig zur Verfügung zu stehen als auch vorhersagbar, nachprüfbar und langfristig wirkungsvoll zu sein?
3. In welchen Umfang kann das Konzept zur Verringerung der Klimawirkung beitragen?

### Konzept der Klimamautgebiete:

Um Airlines einen finanziellen Anreiz zu bieten, ihre Flugstrecke und somit ihre Emissionen in besonders klimasensitiven Lufträumen zu minimieren, wird in dem Konzept der Klimamautgebieten denjenigen Betreibern, die diese Gebiete durchfliegen, eine zusätzliche Klimagebühr aufgelegt. Auf diese Weise wird versucht, das Verhalten der Airlines so gezielt zu beeinflussen, dass diese sich aus (rein) ökonomischen Gründen dazu entscheiden werden, ihre Flüge um gebührenpflichtige (und somit klimasensitive) Regionen herumzuleiten. Ein (teilweises) Umfliegen von Klimamautgebieten trägt somit dazu bei, die daraus resultierenden Betriebskosten zu minimieren: eine Klimafreundliche Flugführung wird wirtschaftlich.

$$DOC(\text{Klimaoptimales Fliegen}) \stackrel{!}{=} DOC(\text{Kostenoptimales Fliegen})$$

Im Konzept der Klimamautgebühren wird in einem Luftraum eine Klimagebühr  $U_{c,j}$  [\$/km] pro geflogenem Kilometer,  $d_j$ , erhoben, wenn die Klimasensitivität an einem Ort einen vereinbarten Schwellenwert übersteigt (siehe Abb. 2-3). Die Berechnung der beim Durchflug zu zahlende Klimagebühr,  $C_{c,j}$ , ist dabei an die etablierte Berechnungsmethodik für Flugsicherungsgebühren angelegt:

$$C_{c,j} = U_{c,j} \cdot \left( \frac{m_{\text{TOW}}}{k_1} \right)^{k_2} \cdot I_{ac} \cdot d_j$$

mit  $m_{\text{TOW}}$  als maximales Abfluggewicht des Luftfahrzeuges,  $I_{ac}$  als Anreizfaktor für den Einsatz klimafreundlicher Flugzeugtechnologiestandards und  $k_1$ ,  $k_2$  als länderspezifische Parameter. Durch die Koppelung der Gebührenhöhe mit einem Technologiefaktor entsteht für Airlines zusätzlich der Anreiz in neue klimafreundlichere Flugzeugtechnologien zu investieren. Operationell ist es den Betreibern freigestellt, individuell für jeden Flug zu entscheiden, ob diese lieber die (i) Flugdauer minimieren und eine Entschädigung für einen höheren Klimaschaden beim Durchflug durch ein Klimamautgebiet zahlen oder (ii) ihre Betriebskosten durch ein (teilweises) Umfliegen minimieren und zeitgleich ihren Klimaschaden reduzieren wollen.

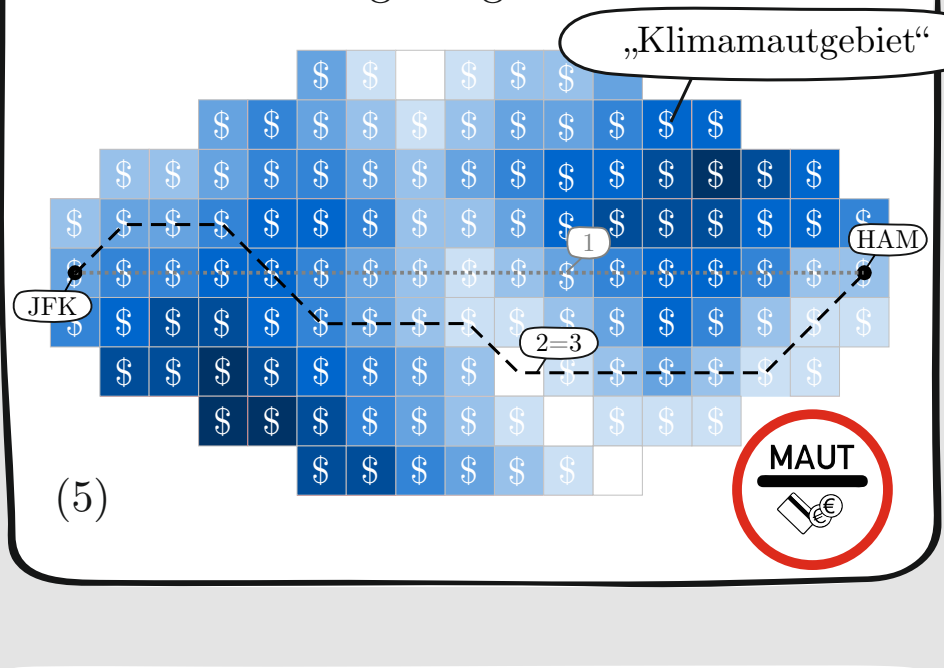
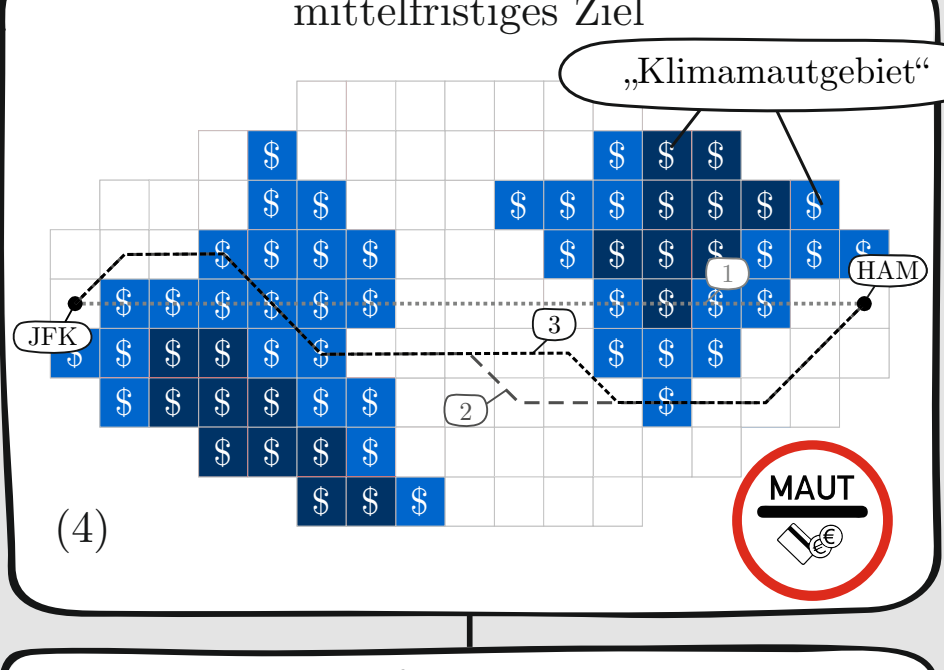
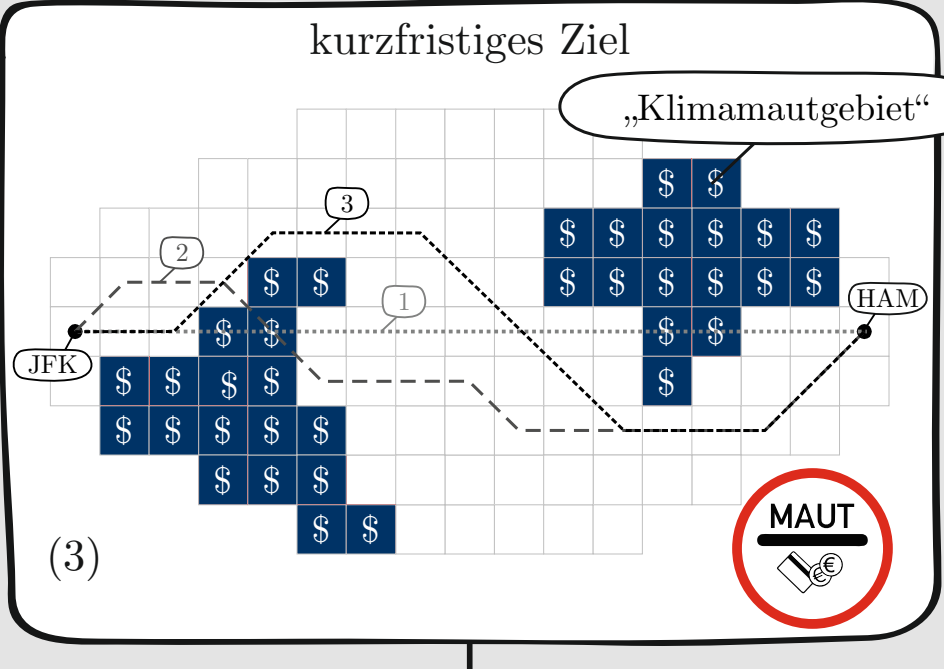
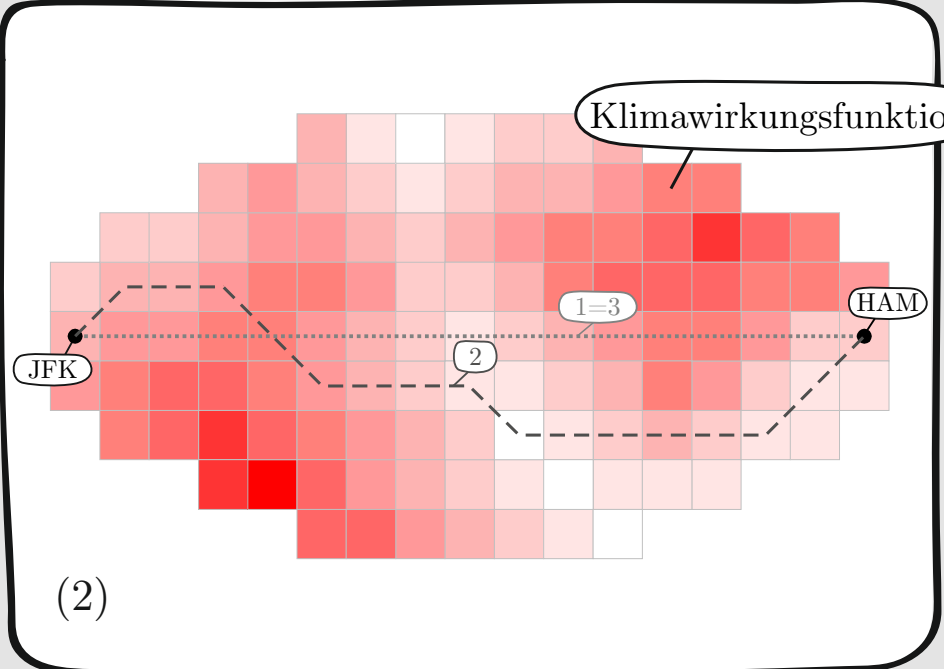
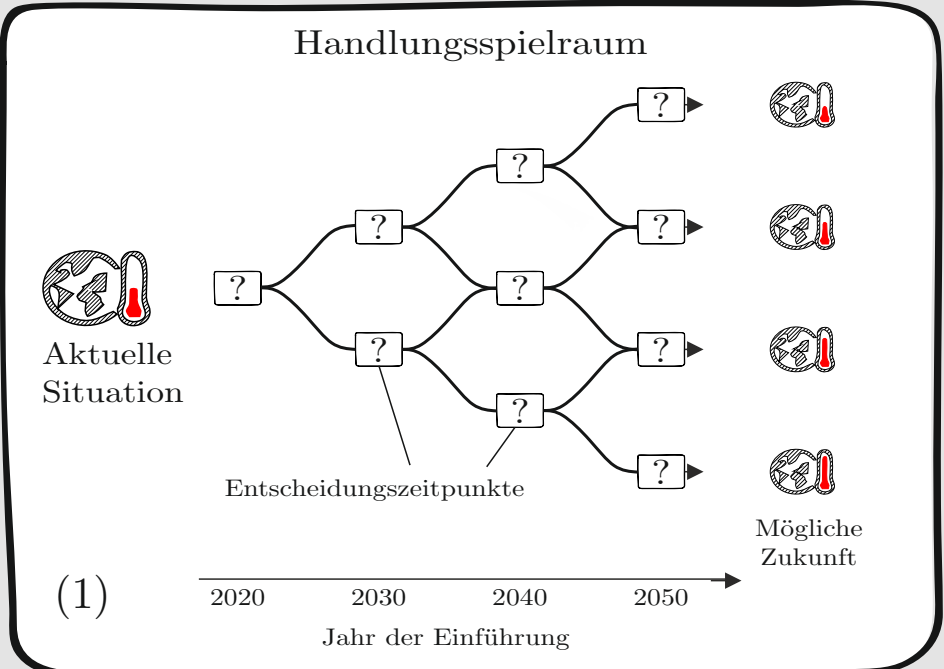
Eine stufenartige Erweiterung des Konzeptes zeigen Abb. 3-5: Um eine zeitnahe Einführung zu ermöglichen, ohne bestehende Unsicherheiten in der Klimaforschung zu vernachlässigen, kann das Konzept kurzfristig nur in besonders klimasensitiven Gebieten eingeführt werden. Auch können zunächst nur ausgewählte Klimaeffekte berücksichtigt werden. Mit zunehmendem wissenschaftlichen Verständnis kann das Konzept schrittweise erweitert und verschiedene Gebührensätze für Regionen mit unterschiedlich hoher Klimasensitivität erhoben werden. In der finalen Ausbauphase sollen alle klimarelevanten Effekte im Konzept berücksichtigt und der gesamte kontrollierte Luftraum einbezogen sein (siehe Abb. 5).

### Ergebnisse:

Mit der Umsetzung des Vorsorge- und Verursacherprinzips der Umweltökonomie führt das Konzept zentrale Rahmenbedingungen einer nachhaltigen Entwicklung in die Luftfahrt ein. So werden die durch den Luftverkehr für die Gesellschaft induzierten sozioökonomischen Folgekosten in die Bilanz der Airlines und somit in ihren Entscheidungsprozess integriert. Diese Bilanzerweiterung senkt die bestehende Diskrepanz zwischen den von den Betreibern veranschlagten, privaten Grenzkosten und die für die Gesellschaft entstehenden Folgekosten deutlich und erzeugt einen finanziellen Anreiz, ihr Flugverhalten zu verändern. Umfliegen Airlines (teilweise) besonders klimasensitive und somit gebührenpflichtige Regionen, können große Teile der durch die (Teil-)Internalisierung entstehenden Mehrkosten vermieden werden (siehe Abb. 6). Dies löst den beim klimafreundlichen Fliegen existierenden Zielkonflikt zwischen Ökologie und Ökonomie auf: Klimafreundliches Fliegen wird wirtschaftlich attraktiv.

Die Demonstration der Funktionalität und Effektivität des Konzeptes erfolgte mit Trajektorienimulationen im Nordatlantikflugkorridor. Werden in dieser Region Klimamautgebiete eingeführt und vollständig umflogen, können durchschnittlich mehr als 90% des maximal durch klimaoptimales Fliegen möglichen Mitigationspotenzials erzielt werden (siehe Abb. 7). Der entwickelte Ansatz, bei der Flugroutenführung ausschließlich die am klimasensitivsten Regionen zu vermeiden, ist dementsprechend wirkungsvoll.

Die Praktikabilität dieses kostengetriebenen Re-Routings kann heutzutage bereits mit dem vergleichbaren Verhalten von Airlines auf transeuropäischen Flügen aufgezeigt werden: Mit dem Ziel Kosten einzusparen, nahmen in den Jahren 2012 bis 2015 (Zeiten, in denen Treibstoffkosten vergleichsweise niedrig waren) etliche Airlines besonders grobe Umwege in Kauf und leiteten ihre Flüge möglichst lange über jene Länder mit geringeren Flugführungsgebühren, wie über Ost- und Südosteuropa (siehe exemplarisch Abb. 8).



- 1: zeitoptimierte Flugtrajektorie
- 2: klimaoptimierte Flugtrajektorie
- 3: kostenoptimierte Flugtrajektorie

### Weitere Informationen:

Niklaß, M.: Ein systemanalytischer Ansatz zur Internalisierung der Klimawirkung der Luftfahrt. Dissertation Technische Universität Hamburg, DLR-Forschungsbericht 2019-06, ISSN 1434-845.

Niklaß, M.; Lührs, B.; Grewe, V.; Gollnick, V.: Implementation of eco-efficient procedures to mitigate the climate impact of non-CO<sub>2</sub> effects. ICAS conference, 31. 9-14 September 2018, Belo Horizonte, Brasilien. Athen, Griechenland.

Grewe, V.; Dahlmann, K.; Flink, J.; Frömming, C.; Ghosh, R.; Gierens, K.; Heller, R.; Hendricks, J.; Jöckel, P.; Kaufmann, S.; Köker, K.; Linke, F.; Luchkova, T.; Lührs, B.; Van Manen, J.; Matthes, S.; Minikin, A.; Niklaß, M.; Plohr, M.; Righi, M.; Rosanka, S.; Schmitt, A.; Schumann, U.; Terekhov, I.; Unterstrasser, S.; Vázquez-Navarro, M.; Voigt, C.; Wicke, K.; Yamashita, H.; Zahn, A.; Ziereis, H.: Mitigating the Climate Impact from Aviation: Achievements and Results of the DLR WeCare Project. Aerospace, 4, 3, 2017. DOI: 10.3390/aerospace4030034

Niklaß, M.; Lührs, B.; Ghosh, R.: A note on how to internalize aviation's climate impact of non-CO<sub>2</sub> effects. ECATS conference, 7-9 November 2016, Athen, Griechenland.